

3 种综合评价方法在柿果品质评价中的应用

程文强^{1,2}, 徐 阳¹, 吴开云¹, 赵献民¹, 龚榜初^{1*}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 2. 南京林业大学林学院, 江苏 南京 210037)

摘要:【目的】通过比较不同果实评价方法的评价效果, 选择适合柿果实品质综合评价的统计分析方法, 为优异柿种质的精准选择和高效利用提供理论依据。【方法】以浙江省 85 份柿种质资源为评价对象, 测定柿果 13 项品质指标(单果质量、果实横径、纵径、粗蛋白、维生素 C、淀粉、钙及 β -胡萝卜素含量、含水率、可溶性固形物、可溶性糖、单宁和粗纤维含量), 分别采用主成分分析法、熵值法和熵权 TOPSIS 法进行果实品质综合评价。【结果】不同柿种质果实品质存在较大差异, 变异系数范围为 3.82%~87.89%, β -胡萝卜素、单宁、淀粉、粗蛋白、维生素 C 及钙含量、单果质量和粗纤维含量变异比较丰富, 纵径、可溶性糖含量、横径、可溶性固形物含量和含水率的变化较小。主成分分析法综合评价时, 长兴 1、富阳 2、奉化 1、莲都 2 等 10 个种质资源综合得分最高; 熵值法进行综合评价时, 武义 3、永嘉 10、武义 4、黄岩 2 等 10 个种质柿果品质综合表现较好; 采用熵权 TOPSIS 法进行综合评价时, 武义 3、永嘉 10、武义 4、淳安 14 等 10 个种质柿果品质综合表现较好。其中, 熵值法和熵权 TOPSIS 法结果较一致, 而主成分分析法结果差异较大, 3 种评价方法造成结果差异的原因主要与理论差异、数据标准化方法的不同以及指标权重的赋值方法不同有关。在柿果品质评价中, 由于果实性状指标数据量多, 关键指标离散程度小, 结合不同种质的生产表现, 以熵权 TOPSIS 法的评价结果更符合实际情况。【结论】基于熵权的 TOPSIS 模型不但提高了指标赋权的合理性, 而且评价结果客观准确, 计算简便, 更适合用于柿种质果实品质综合评价。

关键词: 柿; 果实品质; 主成分分析; 熵值法; 熵权 TOPSIS; 综合评价

中图分类号: S665.2

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2006(2023)04-0061-12



Comparison of three comprehensive evaluation methods to evaluate the quality of persimmon fruit

CHENG Wenqiang^{1,2}, XU Yang¹, WU Kaiyun¹, ZHAO Xianmin¹, GONG Bangchu^{1*}

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, China;

2. College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: 【Objective】 This research aims to evaluate the quality of persimmon fruits using three comprehensive methods in order to provide a theoretical basis for the precise selection and efficient utilization of high quality persimmon germplasm. 【Method】 We selected 85 persimmon germplasm resources in Zhejiang Province as the object of evaluation, and examined 13 quality indicators (weight per fruits, diameter of horizontal cross section, diameter of vertical cross section, content of the crude protein, vitamin C, starch, calcium and β -carotene, water content, content of the soluble solids, soluble sugar, tannin and crude fiber) of persimmon fruit. We employed the principal component analysis, the entropy evaluation method and the entropy-weighting TOPSIS method to evaluate fruit comprehensive quality. 【Result】 Fruit quality of different persimmon germplasm resources varied significantly with variation coefficients of 3.82% - 87.89%. High variations were found in content of the β -carotene, tannin, starch, crude protein, vitamin C, calcium, fruit weight and crude fiber, and low variations were showed in horizontal and vertical cross section diameters, soluble sugar, soluble solids and water content. The principal component analysis revealed that top scoring persimmon germplasm

收稿日期 Received: 2021-09-17

修回日期 Accepted: 2021-11-27

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1001204); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金重点项目(CAF-YBB2017ZA004-3); 浙江省农业(果品)新品种选育重大科技专项项目(2021C02066-10)。

第一作者: 程文强(1181086494@qq.com)。* 通信作者: 龚榜初(gongbc@126.com), 研究员。

引文格式: 程文强, 徐阳, 吴开云, 等. 3 种综合评价方法在柿果品质评价中的应用[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(4): 61-72. CHENG W Q, XU Y, WU K Y, et al. Comparison of three comprehensive evaluation methods to evaluate the quality of persimmon fruit[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(4): 61-72. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202109034.

fruits were Changxing 1, Fuyang 2, Fenghua 1 and Liandu 2. The entropy evaluation method ranked the top scoring persimmon fruits as Wuyi 3, Yongjia 10, Wuyi 4 and Huangyan 2. The entropy-weighting TOPSIS method gave top scoring persimmon fruits to Wuyi 3, Yongjia 10, Wuyi 4, and Chun'an 14. The entropy method and the entropy-weighting TOPSIS method showed relatively similar ranking, while the principal component analysis deviated from the other two methods in scoring. These three methods differ in their theoretical bases, in data standardization methods, and in an index weight assignment. The entropy-weighting TOPSIS based scoring overcame the complexity of the large amount of data on fruit trait indicators and the problem of small dispersion degree of key indicators, and matched best with the production performances and overall quality of different germplasm. 【Conclusion】 The entropy-weight based TOPSIS model simplifies and improves comprehensive evaluation of persimmon germplasm fruit quality compared with scoring by the principal component analysis and the entropy evaluation method.

Keywords: *Diospyros kaki* (persimmon); fruit quality; principal component analysis (PCA); entropy evaluation method; entropy-weighting TOPSIS; comprehensive evaluation

柿 (*Diospyros kaki*) 属柿科 (Ebenaceae) 柿属 (*Diospyros*) 落叶果树^[1], 果实色泽鲜艳, 香甜多汁, 富含维生素和多酚等活性物质, 其维生素 C (VC) 含量比一般水果高 1~2 倍^[2-4], 食用柿果还具有清热润肺, 缓解高血压等功效^[5], 在世界卫生组织推荐的最佳食物中, 柿在最佳水果榜上排名第 8 位^[6]。随着生活水平的提高, 人们对果实品质及其健康作用的关注日益提升, 柿也受到越来越多消费者的青睐。

品质优劣是影响果实商品性的重要因素, 果实品质由自身基因和环境因素决定^[7]。研究表明, 中国柿资源存在丰富的遗传变异^[8-9], 果实品质参差不齐, 且品质指标组成复杂, 评价标准也因人而异, 仅采用单项指标进行统计分析不够全面, 采用单一评价方法进行综合评价又难以避免判断的主观性, 如何对柿果品质客观准确地评价一直是亟待解决的问题。目前, 前人对于柿果品质评价也有一定研究, 韩振诚等^[10]采用“合理-满意度”方法对柿果品质进行评价; 杜洋文等^[11]、吕英忠等^[12]对不同柿品种的性状指标进行主成分分析, 筛选出综合性状较好的柿品种。多项研究将不同的统计方法应用于果实品质评价, 为后续研究提供借鉴, 但柿果品质评价尚处于起步阶段, 对于柿果品质评价体系的研究还未形成统一标准。

本研究在总结前人研究方法的基础上, 综合采用主成分分析法、熵值法和熵权 TOPSIS 法对柿果品质进行评价。主成分分析是将多个变量进行降维处理, 综合为少数几个主成分, 使各主成分间相互独立但又能反映大部分变量信息^[13-14]; 熵值法是依据各指标包含信息量的大小确定指标权重的客观赋值法, 评价指标的信息熵越小, 离散程度越大, 则表示该指标在综合评价中所起到的作用(即

权重)也更大^[15]; TOPSIS 又被称为逼近理想点排序法, 通过计算评价对象与最优解的接近程度进行排序, 常用于多指标综合评价^[16], 目前, 已在番茄 (*Lycopersicon esculentum*)^[17]、甘薯 (*Dioscorea esculenta*)^[18]、黄果柑 (*Citrus reticulata* cv. Huangguogan)^[19]等其他作物(水果)上得到了良好的应用, 结合熵值法与 TOPSIS 法为熵权 TOPSIS 法, 可以排除指标赋权的主观影响, 评价结果也更加全面。

以上 3 种方法在综合评价中都有广泛的应用, 但对于特定评价目标选择合适的评价方法至关重要。本研究以浙江省 85 份柿种质材料为评价对象, 测定其单果质量、可溶性固形物和维生素 C 含量等 13 项主要果实性状指标, 采用主成分分析、熵值法和熵权 TOPSIS 法 3 种方法, 应用于不同柿种质的果实品质评价, 筛选出适用于柿果实品质综合评价的方法, 以期对柿果实品质评价和种质资源的高效利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

本研究采用的 85 份柿种质材料(资源编号及农家名见表 1)为课题组前期收集的浙江省优良种质, 嫁接保存在兰溪柿资源圃 (119.47°E, 29.14°N), 每份种质材料嫁接 6 棵, 砧木统一使用‘亚林柿砧 6 号’ (*D. kaki* ‘Yalinshizhen No. 6’), 待结果后, 每份种质选择长势相对一致的 3 棵柿树为采样树。

柿果以发黄未软为采摘标准, 于盛果期在树冠外围随机采摘 30 个无病虫害、机械损伤的果实, 装箱运回实验室, 待其完成后熟软化测定各项品质指标。

表1 不同柿种质材料编号及名称
Table 1 Numbers and names of different persimmon germplasm materials

序号 No.	材料代号 sample code	材料类别/ 农家名 material type/ native name	序号 No.	材料代号 sample code	材料类别/ 农家名 material type/ native name	序号 No.	材料代号 sample code	材料类别/ 农家名 material type/ native name
1	安吉 1 AJ1	优株 plus tree	30	杭州 1 HZ1	扁花柿 bhs	59	衢江 6 QJ6	新资源 new resource
2	安吉 2 AJ2	新资源 new resource	31	海宁 1 HN1	新资源 new resource	60	衢江 11 QJ11	优株 plus tree
3	安吉 3 AJ3	优株 plus tree	32	黄岩 2 HY2	优株 plus tree	61	瑞安 2 RA2	长奶柿 cns
4	安吉 4 AJ4	新资源 new resource	33	缙云 5 JY5	新资源 new resource	62	绍兴 1 SX1	楠柿 ns
5	苍南 1 CN1	新资源 new resource	34	缙云 7 JY7	火彭柿 hps	63	松阳 4 SY4	水柿 ss
6	苍南 2 CN2	新资源 new resource	35	开化 1 KH1	八月柿 bys	64	松阳 5 SY5	新资源 new resource
7	常山 1 CS1	优株 plus tree	36	开化 3 KH3	十月红 syh	65	遂昌 1 SC1	新资源 new resource
8	长兴 1 CX1	优株 plus tree	37	开化 5 KH5	土柿 ts	66	遂昌 3 SC3	新资源 new resource
9	淳安 2 CA2	无核柿 whs	38	兰溪 2 LX2	新资源 new resource	67	泰顺 3 TS3	扁柿 bs
10	淳安 4 CA4	苹果柿 pgs	39	兰溪 3 LX3	新资源 new resource	68	泰顺 4 TS4	八月黄 byh
11	淳安 5 CA5	新资源 new resource	40	兰溪 4 LX4	金黄柿 jhs	69	天台 1 TT1	优株 plus tree
12	淳安 6 CA6	沙糖柿 sts	41	兰溪 5 LX5	新资源 new resource	70	武义 3 WY3	优株 plus tree
13	淳安 8 CA8	冬柿 ds	42	乐清 1 LQ1	牛头柿 nts	71	武义 4 WY4	优株 plus tree
14	淳安 9 CA9	牛筋柿 njs	43	乐清 4 LQ4	新资源 new resource	72	仙居 1 XJ1	新资源 new resource
15	淳安 10 CA10	新资源 new resource	44	莲都 2 LD2	优株 plus tree	73	萧山 2 XS2	团红柿 ths
16	淳安 11 CA11	磨盘柿 2mps2	45	莲都 4 LD4	牛奶柿 nms	74	新昌 1 XC1	牛心柿 nxs
17	淳安 12 CA12	沙糖柿 sts	46	莲都 6 LD6	新资源 new resource	75	鄞州 2 YZ2	吊红 dh
18	淳安 13 CA13	枕头柿 zts	47	龙泉 2 LQ2	黄柿 hs	76	永嘉 2 YJ2	优株 plus tree
19	淳安 14 CA14	方柿 fs	48	龙游 2 LY2	新资源 new resource	77	永嘉 6 YJ6	水扁柿 sbs
20	淳安 15 CA15	长柿 cs	49	龙游 3 LY3	优株 plus tree	78	永嘉 8 YJ8	玉环长柿 yhcs
21	淳安 16 CA16	圆柿 ys	50	宁海 1 NH1	南瓜柿 ngs	79	永嘉 9 YJ9	东皋长柿 dgcs
22	德清 2 DQ2	铜盆柿 tps	51	浦江 3 PJ3	优株 plus tree	80	永嘉 10 YJ10	八月红 byh
23	德清 5 DQ5	小柿子 xsz	52	浦江 5 PJ5	新资源 new resource	81	永康 1 YK1	红柿 hs
24	德清 6 DQ6	新资源 new resource	53	庆元 1 QY1	优株 plus tree	82	永康 5B YK5B	方山柿 fss
25	奉化 1 FH1	优株 plus tree	54	青田 1 QT1	朱红柿 zhs	83	诸暨 1 ZJ1	新资源 new resource
26	富阳 2 FY2	优株 plus tree	55	衢江 2 QJ2	客柿 ks	84	诸暨 2 ZJ2	优株 plus tree
27	富阳 5 FY5	优株 plus tree	56	衢江 3 QJ3	绿柿 ls	85	诸暨 3 ZJ3	新资源 new resource
28	富阳 6 FY6	新资源 new resource	57	衢江 4 QJ4	新资源 new resource			
29	海盐 1 HY1	新资源 new resource	58	衢江 5 QJ5	汤饼柿 tbs			

1.2 试验方法

柿果采回立即用电子天平(精度 0.01 g)称量其单果质量,游标卡尺(精度 0.01 mm)测定果实横径和纵径,用烘干法测定含水率;以下果实性状指标待后熟软化后测定,可溶性固形物含量使用 AT-AGO(PAL-1)手持数显糖度计测定,维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚法测定^[20],可溶性糖和淀粉含量采用蒽酮比色法测定^[21],粗纤维含量用酸碱消煮法处理样品后,使用 FOSS 全自动纤维分析仪测定^[22], β -胡萝卜素含量参照 GB/T 5009.83—2003 的高效液相色谱法测定,单宁含量参照 NY/T 1600—2008 的分光光度法测定,粗蛋白含量参照 GB 5009.5—2010 的凯氏定氮法测定,钙含量参照 GB/T 5009.92—2003 的原子吸收分光光度法测定。

1.3 评价方法

1.3.1 主成分分析法

采用式(1)对评价指标进行标准化处理,得到第 i 个评价对象第 j 项指标(x_{ij})的标准化值(x_{ij}^*)。采用 SPSS 22.0 进行主成分分析,提取特征值大于 1 的主成分,由主成分的特征根和相应的载荷值计算各主成分得分,利用各主成分的方差贡献率作为其权重,并得出综合分值(Y_i)进行综合评价,见式(2)^[23]。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j} \quad (1)$$

式中: \bar{x}_j 为第 j 项指标的平均值, S_j 为第 j 项指标的标准差。

$$Y_i = \sum D_n C_{in} \quad (2)$$

式中: Y_i 为第 i 个评价对象的综合得分; D_n 为第 n 个主成分的方差贡献率; C_{in} 为第 i 个评价对象第 n 个主成分得分。

1.3.2 熵值法

设有 m 个评价对象, n 项评价指标,评价对象向量为 $\mathbf{A} = (A_1, A_2, \dots, A_m)$,评价指标向量为 $\mathbf{B} = (B_1, B_2, \dots, B_n)$,构造决策矩阵:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

评价指标(D_{ij})分为正向指标和负向指标,分析前分别用式(4)、(5)进行正向化处理,由于各指标单位不同,用式(6)进行无量纲化处理。由式(7)计算第 j 个评价指标的信息熵值(E_j),并通过式(8)确定第 j 个评价指标的权重系数(W_j),最终

计算各评价对象的综合得分(Y_i),见式(9)^[24]。

$$\text{正向指标}(D_{ij}) = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}; \quad (4)$$

$$\text{负向指标}(D_{ij}) = \frac{\max(x_{ij}) - x_{ij}}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}; \quad (5)$$

$$d_{ij} = \frac{D_{ij}}{\sum_{i=1}^m D_{ij}} \quad (6)$$

式中: d_{ij} 为第 j 个指标下第 i 个被评价对象所占的比重。

$$E_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^m (d_{ij} \times \ln d_{ij}); \quad (7)$$

$$W_j = \frac{(1-E_j)}{\sum_{j=1}^n (1-E_j)} \quad (8)$$

式中: $0 \leq W_j \leq 1$ 且 $\sum_{j=1}^n W_j = 1$ 。

$$Y_i = \sum_{j=1}^n W_j d_{ij} \quad (9)$$

1.3.3 熵权 TOPSIS 法

将式(3)的原始矩阵通过正向化和无量纲化处理,通过式(10)构造规范化决策矩阵 $[V_{ij}]$,并将规范化决策矩阵与各指标权重相乘,得到加权决策矩阵(\mathbf{Z}),如式(11)所示,进一步根据式(12)、(13)可得到最优解 Z^+ 和最劣解 Z^- ,并根据式(14)、(15)分别计算与最优解 Z^+ 和最劣解 Z^- 的距离 S_i^+ 、 S_i^- ,通过式(16)计算相对接近度(K_i),根据 K_i 值的大小对不同评价对象进行排序, K_i 值越大,说明评价对象 i 越优,反之则说明评价对象 i 越差^[25]。

$$V_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n d_{ij}^2}}; \quad (10)$$

$$\mathbf{Z} = [Z_{ij}]_{m \times n} = \mathbf{V}_{ij} W_j; \quad (11)$$

$$\mathbf{Z}^+ = (Z_1^+, Z_2^+, \dots, Z_n^+); \quad (12)$$

$$\mathbf{Z}^- = (Z_1^-, Z_2^-, \dots, Z_n^-); \quad (13)$$

式中: $Z_j^+ = \max(Z_{ij})$, $Z_j^- = \min(Z_{ij})$, $j=1, 2, \dots, n$ 。

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^+)^2}; \quad (14)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (Z_{ij} - Z_j^-)^2}; \quad (15)$$

$$K_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, (i=1, 2, \dots, m) \quad (16)$$

1.3.4 肯德尔和谐系数检验

肯德尔和谐系数是判断多列相关等级数据间相关程度的统计值,用于评价不同评价方法对多个评价对象的评分是否具有 consistency,当同一评价方法存在相同评定等级时,计算公式见式(17)^[26]。若被评价样本个数(n) >7 时,需将 K_i 值按式(18)转换为卡方检验值(χ^2),在给定显著度水平 α ,当 χ^2

值大于对应临界值则检验通过,说明各单一评价方法一致性较好;若检验未通过说明各单一评价方法一致性较差^[27]。

$$K_e = \frac{12n \sum_{i=1}^n (\sum_{g=1}^t a_{ig})^2 - 12(\sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^t a_{ig})^2}{t^2 n^2 (n^2 - 1) t n \sum_{g=1}^t (N^3 - N)} \quad (17)$$

其显著性检验公式为

$$\chi^2 = t(n-1)K_e \quad (18)$$

式中: K_e 为肯德尔和谐系数, N 为第 g 种评价方法相同等级的个数, a_{ig} 为第 i 个评价对象的等级(或赋值)分, t 为评分依据标准数。

1.4 数据处理

利用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同柿种质材料的果实品质分析

85份柿种质材料的果实品质性状分析结果见表2。单果质量最大的是长兴1,为213.10 g,最小的是淳安13,为40.96 g;果实横纵径最小的均是龙游2,横径最大的为奉化1,纵径最大的为永嘉9。粗蛋白含量在1.21~20.42 g/kg之间变化,最高的是永嘉10,最低的是遂昌1;莲都2的维生素C含量最高,为486.20 mg/kg,淳安12最低,为9.20 mg/kg;淀粉含量最高的是衢江5,为42.08 g/kg,最低的是永康1和开化3,均为0.43 g/kg;钙含量

在26.10~143.30 mg/kg间变化,淳安14最高,淳安11最低; β -胡萝卜素含量为0.18~13.51 mg/kg,其中含量最高的是武义3,最低的是龙泉2,变化范围较大。含水率为674.26~854.61 g/kg,最高的是奉化1,最低的是青田1。可溶性固形物含量变化范围在120.38~223.33 g/kg,最高的是淳安12,最低的是诸暨1;可溶性糖含量分布在77.26~161.33 g/kg,含量最高的是淳安15,最低的是淳安4;单宁含量为1.01~27.39 g/kg,最高的是开化3,最低的是诸暨3;粗纤维含量变化范围为4.12~17.61 g/kg,富阳2最高,淳安9最低。

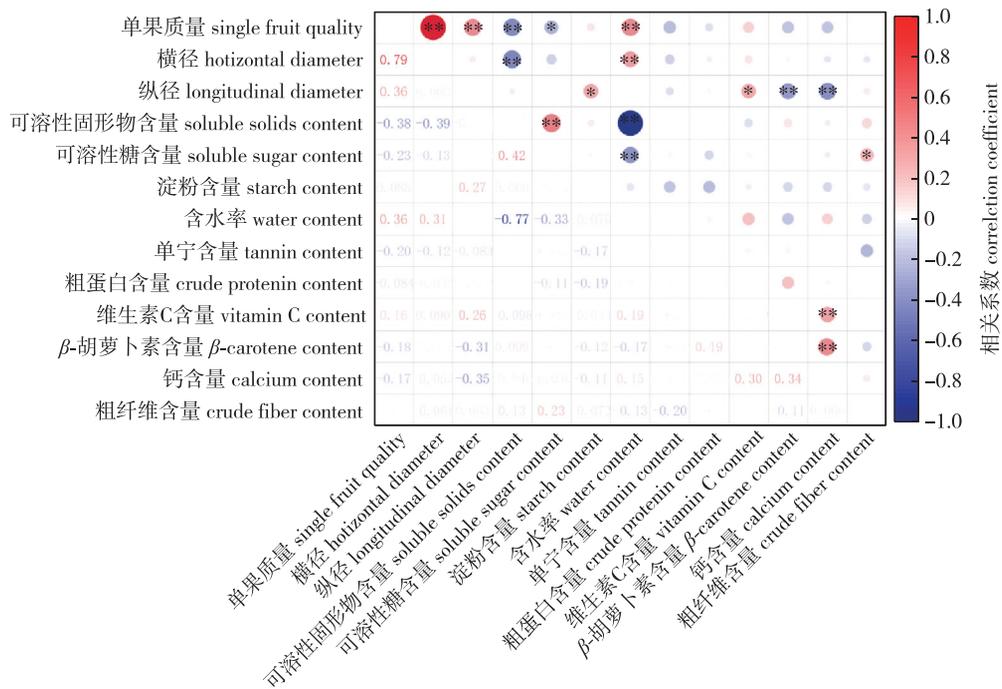
不同柿种质的13项果实性状变异系数均较大,其中变异系数最大的是 β -胡萝卜素含量(87.89%),其次是单宁含量、淀粉含量、粗蛋白含量、维生素C含量、钙含量、单果质量、粗纤维含量、纵径、可溶性糖含量、横径和可溶性固形物含量,含水率的变异系数最小(3.82%),说明不同柿种质的果实品质存在很大差异,变异范围较广。相关性分析表明(图1),果实性状指标间相关性程度不高,78个相关系数中只有13个相关系数达到极显著水平(单果质量与横径、纵径和含水量呈极显著正相关,可溶性固形物含量与可溶性糖含量呈极显著正相关等)。由于各指标体现了不同方面的果实品质,需采用数理统计方法,综合各指标进行品质评价。

表2 不同柿种质材料的果实品质指标分布范围

Table 2 Distribution ranges of fruit quality indexes of different persimmon germplasm materials

品质指标 quality index	单果质量/g single fruit quality	横径/mm horizontal diameter	纵径/mm longitudinal diameter	粗蛋白含量/ (g·kg ⁻¹) crude protein content	维生素C含量/ (mg·kg ⁻¹) Vitamin C content	淀粉含量/ (g·kg ⁻¹) starch content	钙含量/ (mg·kg ⁻¹) calcium content
最大值 max	213.10	77.36	81.56	20.42	486.20	42.08	143.30
最小值 min	40.96	33.77	24.91	1.21	9.20	0.43	26.10
均值 mean	109.75	54.75	54.67	4.72	167.10	11.62	73.85
标准差 SD	35.04	7.77	9.68	3.29	110.18	8.90	26.97
变异系数/%CV	31.93	14.19	17.70	69.58	65.93	76.64	36.52

品质指标 quality index	β -胡萝卜素 含量/ (mg·kg ⁻¹) β -carotene content	含水率/ (g·kg ⁻¹) water content	可溶性 固形物含量/ (g·kg ⁻¹) soluble solids content	可溶性糖含量/ (g·kg ⁻¹) soluble sugar content	单宁含量/ (g·kg ⁻¹) tannin content	粗纤维含量/ (g·kg ⁻¹) crude fiber content
最大值 max	13.51	854.61	223.33	161.33	27.39	17.61
最小值 min	0.18	674.26	120.38	77.26	1.01	4.12
平均值 mean	2.36	790.76	170.23	115.59	8.81	8.09
标准差 SD	2.07	30.17	20.33	18.48	6.77	2.57
变异系数/%CV	87.89	3.82	11.94	15.99	76.84	31.77



* .P<0.05; * * .P<0.01。

图1 柿果实单一品质指标间的相关性分析

Fig.1 Correlation analysis between single quality indicators of persimmon fruits

2.2 主成分分析法评价结果

成分,累计方差贡献率达到81.08%,提取的各主成分及其方差贡献率如表3所示。

将13项果实品质指标经Z-标准化后进行主成分分析,基于特征值≥1的原则,提取前7个主

表3 7个主成分的特征向量、特征值、贡献率及累计贡献率

Table 3 The eigenvectors, eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates of seven PCAs

果实性状指标 fruit characters index	主成分 principal component						
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
单果质量 single fruit quality	0.811	0.244	0.135	-0.219	0.087	0.241	0.219
横径 horizontal diameter	0.715	0.033	0.124	-0.356	0.063	0.262	0.423
纵径 longitudinal diameter	0.323	0.639	0.097	0.364	0.155	0.244	-0.258
可溶性固形物含量 soluble solids content	-0.777	0.332	0.100	-0.059	0.027	0.281	0.078
可溶性糖含量 soluble sugar content	-0.473	0.302	0.389	0.062	0.125	-0.047	0.430
淀粉含量 starch content	0.082	0.480	-0.114	0.025	-0.605	0.216	-0.288
含水量 water content	0.739	-0.374	-0.002	0.181	0.019	-0.307	-0.104
单宁含量 tannin content	-0.163	-0.270	-0.285	0.602	0.211	0.091	0.418
粗蛋白含量 crude protein content	-0.066	-0.270	-0.114	-0.135	0.659	0.327	-0.471
维生素C含量 vitamin C content	0.236	-0.097	0.636	0.555	0.020	0.284	-0.095
β-胡萝卜素含量 β-carotene content	-0.279	-0.541	0.088	-0.287	-0.122	0.537	0.019
钙含量 calcium content	-0.092	-0.625	0.540	0.027	-0.360	-0.014	-0.103
粗纤维含量 crude fiber content	-0.152	0.248	0.577	-0.282	0.298	-0.402	-0.148
特征值 eigenvalue	2.850	1.941	1.349	1.199	1.130	1.054	1.017
贡献率/% contribution rate	21.919	14.934	10.375	9.226	8.693	8.107	7.822
累计贡献率/% cumulative contribution rate	21.919	36.854	47.229	56.455	65.148	73.255	81.077

利用特征值与标准化后的数据计算各主成分的得分,并以每个主成分对应的方差贡献率作为其权重,将各主成分得分与相应权重的乘积累加,计

算综合得分并排序,以此来评价不同农家柿果实综合品质的优劣。其表达式为:

$$Y=0.219 Y_1+0.149 Y_2+0.104 Y_3+0.092 Y_4+$$

$0.087 Y_5 + 0.081 Y_6 + 0.078 Y_7$ 。

从综合品质看,主成分综合得分越高,柿果综合品质越好。85个农家柿的综合得分及评价结果

(表4)可见,长兴1、富阳2、奉化1、莲都2、永嘉6、松阳4、兰溪3、诸暨3、新昌1和永嘉2的综合分值排名前10位。

表4 不同柿种质材料的综合得分及排名

Table 4 Comprehensive score ranking of different persimmon germplasm materials

材料代号 sample code	综合得分 composite score	排序结果 sort result	材料代号 sample code	综合得分 composite score	排序结果 sort result	材料代号 sample code	综合得分 composite score	排序结果 sort result
长兴1 CX1	1.198	1	庆元1 QY1	0.154	30	永嘉10 YJ10	-0.192	59
富阳2 FY2	0.984	2	诸暨1 ZJ1	0.129	31	淳安4 CA4	-0.200	60
奉化1 FH1	0.966	3	天台1 TT1	0.077	32	宁海1 NH1	-0.214	61
莲都2 LD2	0.972	4	常山1 CS1	0.059	33	鄞州2 YZ2	-0.232	62
永嘉6 YJ6	0.875	5	衢江4 QJ4	0.058	34	永康1 YK1	-0.262	63
松阳4 SY4	0.745	6	淳安2 CA2	0.039	35	兰溪2 LX2	-0.283	64
兰溪3 LX3	0.677	7	德清6 DQ6	0.025	36	淳安12 CA12	-0.291	65
诸暨3 ZJ3	0.676	8	富阳6 FY6	0.032	37	富阳5 FY5	-0.296	66
新昌1 XC1	0.621	9	黄岩2 HY2	0.030	38	绍兴1 SX1	-0.297	67
永嘉2 YJ2	0.616	10	遂昌1 SC1	0.028	39	兰溪5 LX5	-0.316	68
永嘉9 YJ9	0.605	11	缙云7 JY7	-0.001	40	苍南2 CN2	-0.339	69
缙云5 JY5	0.548	12	淳安16 CA16	-0.026	41	海宁1 HN1	-0.367	70
兰溪4 LX4	0.551	13	安吉4 AJ4	-0.040	42	开化3 KH3	-0.402	71
永嘉8 YJ8	0.546	14	泰顺3 TS3	-0.037	43	苍南1 CN1	-0.430	72
乐清4 LQ4	0.495	15	衢江11 QJ11	-0.061	44	开化5 KH5	-0.485	73
安吉1 AJ1	0.481	16	安吉2 AJ2	-0.097	45	诸暨2 ZJ2	-0.490	74
仙居1 XJ1	0.460	17	松阳5 SY5	-0.106	46	衢江6 XJ6	-0.517	75
淳安11 CA11	0.427	18	永康5B YK5B	-0.110	47	淳安6 CA6	-0.566	76
瑞安2 RA2	0.413	19	安吉3 AJ3	-0.126	48	莲都6 LD6	-0.577	77
淳安8 CA8	0.379	20	龙游3 LY3	-0.134	49	淳安14 CA14	-0.679	78
淳安9 CA9	0.332	21	开化1 KH1	-0.143	50	浦江5 PJ5	-0.695	79
泰顺4 TS4	0.303	22	海盐1 HY1	-0.146	51	武义4 WY4	-0.728	80
浦江3 PJ3	0.201	23	衢江3 QJ3	-0.149	52	青田1 QT1	-0.768	81
淳安10 CA10	0.180	24	萧山2 XS2	-0.149	53	武义3 WY3	-0.898	82
淳安15 CA15	0.171	25	德清2 DQ2	-0.165	54	德清5 DQ5	-0.943	83
龙泉2 LQ2	0.174	26	杭州1 HZ1	-0.162	55	龙游2 LY2	-1.006	84
遂昌3 SC3	0.171	27	衢江5 QJ5	-0.171	56	淳安13 CA13	-1.031	85
淳安5 CA5	0.161	28	莲都4 LD4	-0.188	57			
乐清1 LQ1	0.146	29	衢江2 QJ2	-0.186	58			

2.3 熵值法评价结果

根据85份农家柿材料的13项果实品质指标建立原始数据矩阵,单宁含量为负向指标,其余均为正向指标,对各评价指标进行标准化处理后,依次计算出信息熵值(E_j)及最后的综合得分(表5)。利用熵值法计算指标权重时,充分考虑了各项指标数据的离散程度^[28]。由表5可知, β -胡萝卜素、淀粉、粗蛋白和维生素C含量的权重较大,其指标值离散程度

大,提供的信息量多;而果实横径、纵径和含水率权重较小,指标离散程度小,提供的信息量少。

将权重值(W_j)代入式(9),计算85份农家柿资源的果实品质综合得分(表6),熵值得分越高,柿果综合品质表现越好。由表6可知,得分排在前10位的依次为武义3、永嘉10、武义4、黄岩2、永嘉9、淳安14、青田1、德清6、莲都4和衢江5,说明这些农家柿果实综合品质表现较优。

表5 熵值法计算结果评价指标权重
Table 5 Evaluation index weight of entropy value method

项目 item	单果质量 single fruit quality	横径 horizontal diameter	纵径 longitudinal diameter	粗蛋白含量 crude protein content	维生素C含量 VC content	淀粉含量 starch content	钙含量 calcium content
信息熵值 information entropy	0.970 4	0.982 9	0.986 9	0.934 1	0.945 8	0.931 9	0.963 5
信息效用值 information utility value	0.029 6	0.017 1	0.013 1	0.065 9	0.054 2	0.068 1	0.036 5
权重系数 weight coefficient	0.060 6	0.035 0	0.026 9	0.134 9	0.110 9	0.139 4	0.074 6

项目 item	β -胡萝卜素 含量 β -carotene content	含水率 water content	可溶性 固形物含量 soluble solids content	可溶性糖含量 soluble sugar content	单宁含量 tannin content	粗纤维含量 crude fiber content
信息熵值 information entropy	0.923 0	0.990 8	0.978 1	0.970 6	0.980 8	0.952 5
信息效用值 information utility value	0.077 0	0.009 2	0.021 9	0.029 4	0.019 2	0.047 5
权重系数 weight coefficient	0.157 4	0.018 8	0.044 8	0.060 2	0.039 3	0.097 2

表6 不同柿种质材料的综合得分及排名
Table 6 Comprehensive score ranking of different persimmon germplasm materials

材料代号 sample code	综合得分 composite score	排序结果 sort result	材料代号 sample code	综合得分 composite score	排序结果 sort result	材料代号 sample code	综合得分 composite score	排序结果 sort result
武义 3 WY3	0.021 64	1	富阳 2 FY2	0.012 41	30	永嘉 8 YJ8	0.010 14	59
永嘉 10 YJ10	0.020 89	2	衢江 3 QJ3	0.012 39	31	泰顺 4 TS4	0.010 05	60
武义 4 WY4	0.019 38	3	宁海 1 NH1	0.012 37	32	缙云 5 JY5	0.009 77	61
黄岩 2 HY2	0.016 40	4	天台 1 TT1	0.012 36	33	海盐 1 HY1	0.009 66	62
永嘉 9 YJ9	0.016 26	5	富阳 5 FY5	0.012 19	34	衢江 2 QJ2	0.009 53	63
淳安 14 CA14	0.015 99	6	诸暨 3 ZJ3	0.012 04	35	永康 5B YK5B	0.009 50	64
青田 1 QT1	0.015 87	7	德清 2 DQ2	0.012 02	36	乐清 1 LQ1	0.009 48	65
德清 6 DQ6	0.015 73	8	萧山 2 XS2	0.011 93	37	淳安 13 CA13	0.009 45	66
莲都 4 LD4	0.015 44	9	浦江 3 PJ3	0.011 88	38	开化 1 KH1	0.009 38	67
衢江 5 QJ5	0.015 31	10	龙泉 2 LQ2	0.011 73	39	淳安 15 CA15	0.009 35	68
新昌 1 XC1	0.015 26	11	兰溪 5 LX5	0.011 60	40	富阳 6 FY6	0.009 33	69
开化 5 KH5	0.015 09	12	衢江 11 QJ11	0.011 60	41	淳安 8 CA8	0.009 30	70
莲都 2 LD2	0.015 07	13	泰顺 3 TS3	0.011 58	42	浦江 5 PJ5	0.009 22	71
长兴 1 CX1	0.014 75	14	鄞州 2 YZ2	0.011 54	43	绍兴 1 SX1	0.009 07	72
缙云 7 JY7	0.014 71	15	遂昌 3 SC3	0.011 47	44	衢江 4 QJ4	0.008 88	73
瑞安 2 RA2	0.013 92	16	安吉 3 AJ3	0.011 46	45	兰溪 2 LX2	0.008 83	74
莲都 6 LD6	0.013 90	17	庆元 1 QY1	0.011 33	46	淳安 5 CA5	0.008 79	75
淳安 6 CA6	0.013 89	18	苍南 1 CN1	0.011 27	47	开化 3 KH3	0.008 53	76
奉化 1 FH1	0.013 88	19	德清 5 DQ5	0.011 25	48	淳安 10 CA10	0.008 43	77
永康 1 YK1	0.013 68	20	淳安 12 CA12	0.011 23	49	淳安 11 CA11	0.008 16	78
乐清 4 LQ4	0.013 63	21	遂昌 1 SC1	0.011 15	50	兰溪 4 LX4	0.008 15	79
永嘉 6 YJ6	0.013 63	22	龙游 3 LY3	0.010 90	51	龙游 2 LY2	0.008 13	80
永嘉 2 YJ2	0.013 56	23	淳安 16 CA16	0.010 82	52	安吉 4 AJ4	0.007 45	81
安吉 2 AJ2	0.013 09	24	杭州 1 HZ1	0.010 81	53	衢江 6 QJ6	0.007 35	82
海宁 1 HN1	0.012 78	25	淳安 9 CA9	0.010 59	54	诸暨 1 ZJ1	0.006 39	83
兰溪 3 LX3	0.012 66	26	苍南 2 CN2	0.010 56	55	淳安 4 CA4	0.006 28	84
淳安 2 CA2	0.012 54	27	诸暨 2 ZJ2	0.010 39	56	松阳 5 SY5	0.006 07	85
常山 1 CS1	0.012 48	28	松阳 4 SY4	0.010 30	57			
仙居 1 XJ1	0.012 42	29	安吉 1 AJ1	0.010 26	58			

2.4 熵权 TOPSIS 法评价结果

依据熵值法计算得到的指标权重,构造加权矩阵 $Z=[Z_{ij}]_{m \times n}$ 。根据式(12)、(13)计算最优解与最劣解,通过式(14)、(15)计算各评价对象与最优解和最劣解之间的距离(S_i^+ 与 S_i^-),并由式(16)计算相对接近度(K_i)(表7),与最优解的距离越小,相对接近度 K_i 值越大,则说明柿果实综合品质越好。根

据 K_i 值的大小对不同柿种质材料进行排序,据此,建立基于熵权 TOPSIS 法的柿果品质评价模型。由评价结果(表7)可知,武义3的相对接近度(K_i)最大,为0.528,其次为永嘉10, K_i 值为0.514,松阳5的相对接近度 K_i 最小,仅为0.124。综合品质排序位于前10位的依次是武义3、永嘉10、武义4、淳安14、开化5、青田1、淳安6、黄岩2、衢江5、德清6。

表7 不同柿种质果实品质的综合评价

Table 7 Comprehensive evaluations of fruit quality of different persimmon germplasm

材料代号 sample code	S^+	S^-	K_i	排序结果 sort result	材料代号 sample code	S^+	S^-	K_i	排序结果 sort result
武义3 WY3	0.073	0.082	0.528	1	富阳5 FY5	0.095	0.031	0.244	44
永嘉10 YJ10	0.066	0.070	0.514	2	淳安9 CA9	0.097	0.031	0.243	45
武义4 WY4	0.082	0.065	0.442	3	德清5 DQ5	0.093	0.030	0.243	46
淳安14 CA14	0.078	0.057	0.422	4	安吉3 AJ3	0.095	0.030	0.242	47
开化5 KH5	0.082	0.058	0.412	5	庆元1 QY1	0.094	0.030	0.240	48
青田1 QT1	0.076	0.052	0.406	6	泰顺3 TS3	0.097	0.030	0.233	49
淳安6 CA6	0.079	0.047	0.373	7	淳安12 CA12	0.097	0.029	0.231	50
黄岩2 HY2	0.076	0.044	0.367	8	苍南1 CN1	0.095	0.029	0.230	51
衢江5 QJ5	0.089	0.050	0.359	9	松阳4 SY4	0.103	0.031	0.229	52
德清6 DQ6	0.083	0.045	0.355	10	苍南2 CN2	0.098	0.029	0.228	53
缙云7 JY7	0.082	0.044	0.351	11	杭州1 HZ1	0.093	0.027	0.224	54
永嘉9 YJ9	0.086	0.045	0.344	12	遂昌1 SC1	0.100	0.029	0.224	55
莲都4 LD4	0.088	0.045	0.336	13	诸暨2 ZJ2	0.094	0.026	0.220	56
莲都2 LD2	0.095	0.045	0.322	14	龙游3 LY3	0.099	0.027	0.218	57
莲都6 LD6	0.092	0.043	0.319	15	衢江2 QJ2	0.099	0.026	0.209	58
新昌1 XC1	0.086	0.040	0.316	16	浦江5 PJ5	0.095	0.025	0.206	59
海宁1 HN1	0.085	0.037	0.305	17	兰溪2 LX2	0.101	0.026	0.205	60
长兴1 CX1	0.090	0.038	0.299	18	缙云5 JY5	0.103	0.026	0.204	61
淳安2 CA2	0.086	0.035	0.293	19	富阳6 FY6	0.103	0.026	0.204	62
瑞安2 RA2	0.091	0.037	0.288	20	安吉1 AJ1	0.100	0.025	0.202	63
永康1 YK1	0.089	0.036	0.286	21	淳安13 CA13	0.100	0.025	0.201	64
奉化1 FH1	0.091	0.036	0.284	22	乐清1 LQ1	0.099	0.025	0.200	65
浦江3 PJ3	0.096	0.037	0.278	23	开化1 KH1	0.098	0.024	0.198	66
天台1 TT1	0.090	0.035	0.277	24	永嘉8 YJ8	0.099	0.024	0.197	67
永嘉6 YJ6	0.090	0.035	0.277	25	海盐1 HY1	0.096	0.023	0.196	68
乐清4 LQ4	0.094	0.035	0.273	26	泰顺4 TS4	0.099	0.024	0.193	69
鄞州2 YZ2	0.088	0.033	0.273	27	淳安15 CA15	0.102	0.023	0.186	70
富阳2 FY2	0.100	0.038	0.273	28	绍兴1 SX1	0.100	0.022	0.183	71
兰溪5 LX5	0.088	0.033	0.270	29	开化3 KH3	0.100	0.022	0.183	72
常山1 CS1	0.095	0.035	0.268	30	兰溪4 LX4	0.105	0.023	0.181	73
萧山2 XS2	0.100	0.036	0.265	31	淳安8 CA8	0.102	0.022	0.179	74
永嘉2 YJ2	0.092	0.033	0.264	32	永康5B YK5B	0.099	0.022	0.179	75
安吉2 AJ2	0.089	0.032	0.263	33	龙游2 LY2	0.100	0.022	0.179	76
衢江3 QJ3	0.089	0.031	0.259	34	淳安5 CA5	0.098	0.021	0.178	77
兰溪3 LX3	0.093	0.032	0.259	35	淳安11 CA11	0.105	0.022	0.172	78
宁海1 NH1	0.089	0.031	0.258	36	淳安10 CA10	0.100	0.020	0.170	79
龙泉2 LQ2	0.100	0.035	0.258	37	衢江4 QJ4	0.101	0.020	0.168	80
淳安16 CA16	0.100	0.034	0.253	38	安吉4 AJ4	0.102	0.018	0.147	81
仙居1 XJ1	0.094	0.032	0.251	39	衢江6 QJ6	0.106	0.018	0.144	82
衢江11 QJ11	0.089	0.030	0.251	40	淳安4 CA4	0.105	0.016	0.132	83
诸暨3 ZJ3	0.096	0.032	0.248	41	诸暨1 ZJ1	0.106	0.016	0.131	84
遂昌3 SC3	0.099	0.032	0.246	42	松阳5 SY5	0.109	0.015	0.124	85
德清2 DQ2	0.091	0.030	0.245	43					

2.5 评价结果对比分析

肯德尔和谐系数是用来判断多列相关等级数据之间相关程度的一种非参数检验方法,和谐系数越接近于1,则一致性越强^[29]。对3种方法的评价结果进行检验,结果表明: χ^2 为136.92,查表知当 $\alpha=0.05$ 时 $\chi^2_{0.05,84}=106.395$,因 $\chi^2 > \chi^2_{0.05,84}$, $P < 0.05$,说明3种评价方法稳定可靠,整体结果一致性较好,但检验的和谐系数 K_s 为0.543,远小于1,说明不同评价方法的结果仍略有不同。3种评价方法的结果排序表明,熵值法与熵权TOPSIS法的评价排序基本一致,如武义3、永嘉10等8份种质都在各自前10,且前3名的排序完全一致,均为实际生产中表现较好的优异种质;而主成分分析法评价排序与两者差异较大,如在熵值法和熵权TOPSIS法中排名靠前的黄岩2和永嘉10,在主成分分析法中只排名38和59,主成分分析法中得分最高的长兴1,在熵值法和熵权TOPSIS法中则分别排在14和18。

表8 3种评价方法中前10名种质材料

Table 8 The top 10 germplasm materials in the three comprehensive evaluation methods

排序 rank	主成分分析法 principal component analysis	熵值法 entropy evaluation method	熵权TOPSIS法 entropy- weighting TOPSIS
1	长兴1 CY1	武义3 WY3	武义3 WY3
2	富阳2 FY2	永嘉10 YJ10	永嘉10 YJ10
3	奉化1 FH1	武义4 WY4	武义4 WY4
4	莲都2 LD2	黄岩2 HY2	淳安14 CA14
5	永嘉6 YJ6	永嘉9 YJ9	开化5 KH5
6	松阳4 SY4	淳安14 CA14	青田1 QT1
7	兰溪3 LX3	青田1 QT1	淳安6 CA6
8	诸暨3 ZJ3	德清6 DQ6	黄岩2 HY2
9	新昌1 XC1	莲都4 LD4	衢江5 QJ5
10	永嘉2 YJ2	衢江5 QJ5	德清6 DQ6

3 讨论

果实品质的优劣是柿产业可持续发展的关键,不同柿种质果实品质差异较大,对其进行适当评价是有效利用和选择优异种质资源并推广栽培的基础^[30],但果品质量指标组成复杂,且综合评价的影响因素众多,评价结果也常依赖于评价指标与方法、评价样本的选取。而由于评价理论、数据标准化方法以及指标权重的赋值方法不同,往往造成评价结果的差异。

主成分分析法利用中心标准化避免了量纲和

数量级的影响,但无法准确反映原始数据包含的信息,标准化后的各指标重要程度相当。如本研究中,通过降维的方法将13项品质指标综合为7个主成分,累计方差贡献率为81.08%,但仍损失了一部分的变量信息,且无法明确解释新提取的7个主成分含义,如第2主成分没有其所含的原始变量(钙含量、果实纵径、 β -胡萝卜素含量)含义明确,且相关性分析表明,各个变量(果实品质指标)间相关性程度较小,故采用主成分分析法意义也较小,这与韩晓等^[31]在研究中提到的问题相一致。

熵值法通过计算指标值的离散程度进行权重赋值,可避免传统经验评价的主观性及标准的单一性。本研究中利用熵值法评价时,含水率、果实横径、纵径、单宁含量和可溶性固形物含量的指标值离散程度小,种质间区别不大,区分品质的指标意义不明显,所以权重赋值较低,而 β -胡萝卜素含量、淀粉含量、粗蛋白含量的指标值离散程度大,熵值小,故赋予更高的权重值。熵值法赋值可避免人为赋值的主观影响,但容易忽略一些分布均匀但却与结果相关性强的指标,在一定程度上造成评价结果的误差。一般认为,单宁含量与可溶性固形物含量与柿果综合品质相关性较强^[22],但指标离散程度小,仅通过熵值法计算综合得分就削弱了这两个指标的作用,从而使结果可能出现偏差。

本研究中,充分发挥熵权TOPSIS法的灵活性,不但没有损失变量信息,且对原始数据给予的信息进行充分挖掘和利用。以熵值法得到的指标权重为基础,通过TOPSIS法在规范化加权决策矩阵中计算最优解和最劣解,依据相对接近度对评价结果进行排序,既保留了TOPSIS法的评价优点,又能充分避免传统TOPSIS法中对指标权重进行人为赋值的主观性^[32],得到不同柿种质的优劣评价。

可见,3种综合评价方法各有优缺点,因此,要依据评价对象、评价指标以及样本数量来选择合适的综合评价方法。一般而言,对于果实性状指标多,且指标间具有一定的相关性,适合采用主成分分析法,以便将多个相关性强的变量综合为一个变量来简化计算。对于评价指标与结果无明显相关性的指标,采用熵值法计算的评价结果更为准确;而评价指标之间相关性较低,且需要评价结果客观准确,能达到精准反映评价对象间异同的效果,更适合采用熵权TOPSIS综合评价法。总而言之,综合评价方法的选择,都需要根据实际情况对数据进行分析判断,才能达到更好的评价效果。而本研究

中,由于不同柿种质的果实性状指标间相关性较低,不适合采用主成分分析,而单宁含量和可溶性固形物含量等重要指标的离散程度小, β -胡萝卜素含量等非决定性指标离散程度大,也不适用于熵值法计算;在柿果品质评价中既需要客观的指标权重赋值,又要准确反映不同柿种质间的差异,所以更适合采用熵权 TOPSIS 法。

利用熵权 TOPSIS 法评价发现,武义 3、永嘉 10(八月红)、武义 4(牛心柿)、淳安 14(方柿)等 10 个柿种质排名靠前,且各有特点,其中,永嘉 10(八月红)的单果质量、粗蛋白、 β -胡萝卜素及粗纤维含量均较高,武义 4(牛心柿)的可溶性固形物、粗蛋白、维生素 C、钙及粗纤维含量均较高,淳安 14(方柿)的 β -胡萝卜素及钙含量较高。同样,排序筛选的结果也与实际生产表现相一致,如敖礼林等^[33]指出方柿营养丰富,味甜可口,适应性强,是当地的名优资源,也有学者研究表明牛心柿是地方优选良种^[34],说明通过熵权 TOPSIS 法可以对柿果实品质做出准确评价。此外,武义 3 各指标综合评价较好,排名最为靠前,与之前报道过的名优涩柿品种‘早红’(‘Zaohong’)^[35]相比,品质相差不大,可溶性糖含量也较为接近,但维生素 C 含量高,品质更优。

综上所述,利用 3 种综合评价方法评价不同柿种质果实品质,相对于主成分分析法和熵值法,熵权 TOPSIS 法的评价结果更为客观准确,且与田间实际生产表现也较为一致。本研究建立基于熵权的 TOPSIS 评价模型,可为柿果品质综合评价提供了新的方法和思路,也为今后研究提供借鉴意义。

参考文献 (reference):

- [1] 杨勇,阮小凤,王仁梓,等.柿种质资源及育种研究进展[J].西北林学院学报,2005,20(2):133-137,170. YANG Y, RUAN X F, WANG R Z, et al. Advances in research of germplasm resources and breeding of *Diospyros kaki* L[J]. J Northwest For Univ, 2005, 20(2): 133-137+170. DOI:10.3969/j.issn.1001-7461.2005.02.035.
- [2] CHOE J H, KIM H Y, KIM Y J, et al. Antioxidant activity and phenolic content of persimmon peel extracted with different levels of ethanol[J]. Int J Food Prop, 2014, 17(8): 1779-1790. DOI:10.1080/10942912.2012.731460.
- [3] JUNG S T, PARK Y S, ZACHWIEJA Z, et al. Some essential phytochemicals and the antioxidant potential in fresh and dried persimmon[J]. Int J Food Sci Nutr, 2005, 56(2): 105-113. DOI:10.1080/09637480500081571.
- [4] GONZÁLEZ E, VEGARA S, MARTÍ N, et al. Physicochemical characterization of pure persimmon juice: nutritional quality and food acceptability[J]. J Food Sci, 2015, 80(3): C532-C539. DOI:10.1111/1750-3841.12772.
- [5] 郭伟华,张放.柿树中 3 种主要活性成分研究进展[J].食品工业科技,2015,36(1):395-399. GUO W H, ZHANG F. Progress of three active components from *Diospyros kaki* L[J]. Sci Technol Food Ind, 2015, 36(1): 395-399. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.01.075.
- [6] 梁志宏,李小平,茹慧玲,等.超高压处理对柿浆品质的影响[J].食品科学,2018,39(3):163-168. LIANG Z H, LI X P, RU H L, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on the quality of persimmon pulp[J]. Food Sci, 2018, 39(3): 163-168. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201803025.
- [7] 王轩.不同产地红富士苹果品质评价及加工适宜性研究[D].北京:中国农业科学院,2013. WANG X. Research on quality evaluation and processing suitability of Fuji apple from different Chinese origins[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013.
- [8] 艾呈祥,秦志华,陶吉寒,等.32个柿主栽品种 SSR 图谱构建及遗传变异分析[J].西北植物学报,2011,31(11):2185-2191. AI C X, QIN Z H, TAO J H, et al. SSR fingerprints and genetic variations of the 32 persimmon major cultivars[J]. Acta Bot Boreali Occidentalia Sin, 2011, 31(11): 2185-2191.
- [9] 林轿,王仕玉,龚洵,等.柿种质资源鉴定及柿属植物亲缘关系研究进展[J].热带农业科学,2020,40(10):83-89. LIN J, WANG S Y, GONG X, et al. Research progress in identification of persimmon germplasm resources and phylogenetic relationship of *Diospyros* plants[J]. Chin J Trop Agric, 2020, 40(10): 83-89. DOI:10.12008/j.issn.1009-2196.2020.10.014.
- [10] 韩振诚,潘学军,安华明,等.贵州柿地方品种果实品质及发育动态研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(7):97-106. HAN Z C, PAN X J, AN H M, et al. Fruit quality and development dynamics of local persimmon cultivars in Guizhou[J]. J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed), 2017, 45(7): 97-106. DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.07.013.
- [11] 杜洋文,邓先珍,程军勇,等.日本甜柿不同品种综合评价体系构建与应用[J].西南大学学报(自然科学版),2016,38(9):53-57. DU Y W, DENG X Z, CHENG J Y, et al. Establishment and application of a comprehensive evaluation system for different varieties of Japanese sweet persimmon[J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 2016, 38(9): 53-57. DOI:10.13718/j.cnki.xdzk.2016.09.009.
- [12] 吕英忠,李卓,张拥兵,等.不同柿果实品质分析及综合评价[J].食品与发酵工业,2020,46(18):180-186. LYU Y Z, LI Z, ZHANG Y B, et al. Analysis and comprehensive evaluation on fruit quality of different persimmon varieties[J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(18): 180-186. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.024640.
- [13] 王飞跃,刘子琦,李渊,等.石漠化治理区火龙果果实品质评价[J].西南农业学报,2020,33(4):867-874. WANG F Y, LIU Z Q, LI Y, et al. Evaluation of pitaya fruit quality in rocky desertification control area[J]. Southwest China J Agric Sci, 2020, 33(4): 867-874. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2020.4.028.
- [14] 杨玉宁,陈松树,高尔刚,等.基于主成分分析的木通属植物果实品质评价[J].食品与发酵工业,2021,47(9):191-200. YANG Y N, CHEN S S, GAO E G, et al. Fruit quality evaluation of *Akebia Decne* based on principal component analysis[J]. Food Ferment Ind, 2021, 47(9): 191-200. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025657.
- [15] 马宁,刘艳霞,李想,等.基于熵权法综合评价植物根际促生菌对烟草的促生作用[J].南京农业大学学报,2020,43(5):887-895. MA N, LIU Y X, LI X, et al. Comprehensive evaluation of growth promotion effect of PGPR strains on tobacco based on entropy weight method[J]. J Nanjing Agric Univ, 2020, 43(5): 887-895. DOI:10.7685/jnau.201910046.

- [16] 李玲, 徐舒, 曹如霞, 等. 基于 PCA-Entropy TOPSIS 的甘薯品种块根质构品质评价[J]. 中国农业科学, 2020, 53(11): 2161-2170. LI L, XU S, CAO R X, et al. Evaluation of texture quality of sweetpotato storage roots based on PCA-entropy TOPSIS[J]. Sci Agric Sin, 2020, 53(11): 2161-2170. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.11.003.
- [17] 杜娅丹, 曹红霞, 柳美玉, 等. 基于层次分析法和熵权法的 TOPSIS 模型在番茄生长综合评价中的应用[J]. 西北农业学报, 2015, 24(6): 90-96. DU Y D, CAO H X, LIU M Y, et al. Comprehensive evaluation of tomato growing with application of TOPSIS model based on AHP and entropy method[J]. Acta Agric Boreali Occidentalis Sin, 2015, 24(6): 90-96. DOI: 10.7606/j.issn.1004-1389.2015.06.014.
- [18] 刘忠玲, 李小艳, 王自力, 等. 基于组合赋权的甘薯品种抗病性的 TOPSIS 综合评价[J]. 陕西农业科学, 2018, 64(1): 40-43. LIU Z L, LI X Y, WANG Z L, et al. TOPSIS comprehensive evaluation of disease resistance of sweet potato varieties based on combination weighting[J]. Shaanxi J Agric Sci, 2018, 64(1): 40-43. DOI: 10.3969/j.issn.0488-5368.2018.01.013.
- [19] 叶霜, 李承炎, 邱霞, 等. 基于组合赋权的 TOPSIS 模型在果实品质评价中的应用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2017, 45(10): 111-121. YE S, LI C Y, QIU X, et al. Application of combination weighting based TOPSIS model in fruit quality evaluation[J]. J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed), 2017, 45(10): 111-121. DOI: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2017.10.014.
- [20] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. GAO J F. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [21] 于国萍. 食品生物化学实验[M]. 北京: 中国林业出版社, 2012. YU G P. Food biochemistry experiments[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012.
- [22] 赵献民, 龚榜初, 吴开云, 等. 浙江省农家柿品种果实营养成分的变异分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(1): 125-133. ZHAO X M, GONG B C, WU K Y, et al. Variation analysis of fruit nutrients of native persimmon in Zhejiang Province[J]. J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed), 2015, 43(1): 125-133. DOI: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.01.010.
- [23] 荆瑞勇, 卫佳琪, 王丽艳, 等. 基于主成分分析的不同水稻品种品质综合评价[J]. 食品科学, 2020, 41(24): 179-184. JING R Y, WEI J Q, WANG L Y, et al. Comprehensive quality evaluation of different rice varieties based on principal component analysis[J]. Food Sci, 2020, 41(24): 179-184. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20191218-198.
- [24] 杨士航, 李光林, 马驰, 等. 基于因子分析联合熵值法的重庆市璧山区设施葡萄经济效益分析与评价[J]. 南方农业学报, 2020, 51(2): 477-484. YANG S H, LI G L, MA C, et al. Economic benefit analysis and evaluation of facility grape in Bishan District of Chongqing based on factor analysis and entropy method[J]. J South Agric, 2020, 51(2): 477-484. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1191.2020.02.030.
- [25] 陈佳敏, 汪涛, 郭巧生, 等. 基于熵权 TOPSIS 法对不同产地野菊花醇提物抗氧化性抗炎活性的比较[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(4): 907-914. CHEN J M, WANG T, GUO Q S, et al. Comprehensive antioxidant and anti-inflammatory activity of alcohol extracts from *Chrysanthemum indicum* in different areas based on entropy weight and TOPSIS methodology[J]. China J Chin Mater Med, 2021, 46(4): 907-914. DOI: 10.19540/j.cnki.cjmm.20201122.102.
- [26] 郭松, 李在留, 薛建辉. 掌叶木种子及其籽油性状综合评价模型构建和优选[J]. 农业工程学报, 2019, 35(6): 314-322. GUO S, LI Z L, XUE J H. Establishment and optimization of comprehensive evaluation model for seed and seed oil traits of *Handeliendron bodinieri* [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2019, 35(6): 314-322. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.06.038.
- [27] 张曦, 戴二玲, 黄嘉南. 建设项目社会稳定风险因素权重确定方法优选: 基于肯德尔协同系数的运用[J]. 北京航空航天大学学报(社会科学版), 2021, 34(4): 124-130. ZHANG X, DAI E L, HUANG J N. Optimization of method for determining weight of social stability risk factors in construction projects: based on application of Kendal synergy coefficient [J]. J Beijing Univ Aeronaut Astronaut (Soc Sci Ed), 2021, 34(4): 124-130. DOI: 10.13766/j.bhsk.1008-2204.2020.0169.
- [28] 虞娜, 吴昌娟, 张玉玲, 等. 基于熵权的 TOPSIS 模型在保护地番茄水肥评价中的应用[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(4): 456-460. YU N, WU C J, ZHANG Y L, et al. Application of TOPSIS model method based on entropy weight to evaluate coupling effect of irrigation and fertilization of greenhouse tomato [J]. J Shenyang Agric Univ, 2012, 43(4): 456-460. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1700.2012.04.012.
- [29] 付冬莹, 李贻学. 基于 3 种统计分析方法的山东省综合竞争力研究[J]. 中国人口资源与环境, 2016, 26(S2): 369-372. FU D Y, LI Y X. Comprehensive competitiveness of Shandong Province based on three statistical methods [J]. China Popul Resour Environ, 2016, 26(S2): 369-372.
- [30] 刘磊, 李争艳, 雷华, 等. 30 个猕猴桃品种(单株)主要果实品质特征的综合评价[J]. 果树学报, 2021, 38(4): 530-537. LIU L, LI Z Y, LEI H, et al. Comprehensive evaluation of main fruit quality characteristics with 30 kiwifruit cultivars (strains) [J]. J Fruit Sci, 2021, 38(4): 530-537. DOI: 10.13925/j.cnki.gsxb.20200227.
- [31] 韩晓, 刘凤之, 王孝娣, 等. 3 种综合评价法在葡萄砧穗组合环境适应性中的应用[J]. 果树学报, 2017, 34(10): 1349-1356. HAN X, LIU F Z, WANG X D, et al. Comparison of three comprehensive evaluation methods to evaluate the grape rootstock-scion combination environmental adaptability [J]. J Fruit Sci, 2017, 34(10): 1349-1356. DOI: 10.13925/j.cnki.gsxb.20170086.
- [32] 李若帆, 马娟娟, 孙西欢, 等. 不同水肥管理模式下糯玉米水氮利用及熵权 TOPSIS 综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 111-120. LI R F, MA J J, SUN X H, et al. Comprehensive evaluation of water and nitrogen utilization of waxy corn based on entropy weight TOPSIS model under different water and fertilizer treatments [J]. Agric Res Arid Areas, 2020, 38(4): 111-120. DOI: 10.7606/j.issn.1000-7601.2020.04.14.
- [33] 敖礼林, 陈兆虎, 饶卫华, 等. 特色方柿丰产优质栽培技术[J]. 科学种养, 2020(4): 57-59. AO L L, CHEN Z H, RAO W H, et al. Cultivation techniques for high yield and high quality of characteristic persimmon [J]. 2020(4): 57-59. DOI: 10.13270/j.cnki.kxzh.2020.04.022.
- [34] 张载年. 石城牛心柿早期丰产栽培技术[J]. 中国果树, 2003(4): 45-46. ZHANG Z N. Early high-yield cultivation techniques of Shicheng Niuxin persimmon [J]. China Fruits, 2003(4): 45-46. DOI: 10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2003.04.023.
- [35] 金光, 廖汝玉, 沈清标, 等. 优质早熟红柿品种‘早红’的选育[J]. 中国南方果树, 2010, 39(6): 13-15. JIN G, LIAO R Y, SHEN Q B, et al. Breeding of a new high-quality and early-maturing astringent persimmon cultivar ‘Zaohong’ [J]. South China Fruits, 2010, 39(6): 13-15. DOI: 10.13938/j.issn.1007-1431.2010.06.029.

(责任编辑 吴祝华)